
— Reconnaissance de personnes —
— par analyse automatique des empreintes digitales —

1	Systèmes automatiques de reconnaissance d’empreintes digitales	1
1.1	Acquisition d’une image d’empreinte digitale (<i>sensor</i>)	2
1.2	Génération de la référence biométrique associée (<i>feature extraction</i>)	3
1.3	Comparaison de deux références biométriques	10
2	Travail à effectuer	11
2.1	Extraction des minuties et comparaison de 2 empreintes	11
2.2	Authentification	16
2.3	Identification	16
2.4	Acquisition et révélation d’empreintes	16

Depuis la fin du 19^{ème} siècle, Galton a mis en évidence le caractère unique de nos empreintes digitales. En effet, on estime à 10^{-24} la probabilité que deux individus aient une empreinte identique et deux jumeaux homozygotes n’ont pas les mêmes empreintes. Une empreinte digitale est constituée d’un ensemble de lignes de crêtes et de vallées (voir Figure 1) dont la répartition et la forme dépendent du bagage génétique de chaque individu mais aussi des micro-événements subis par le fœtus lors de sa vie intra-utérine.



FIGURE 1 – A gauche, empreinte digitale 3D ; à droite, empreinte digitale 2D

Sauf en cas de blessure atteignant le derme (brûlure par exemple), les empreintes digitales demeurent identiques tout au long de la vie. La première affaire criminelle ayant été résolue par comparaison manuelle d’empreintes digitales date de 1902 en France.

1 Systèmes automatiques de reconnaissance d’empreintes digitales

Depuis une bonne vingtaine d’années sont apparus des systèmes automatiques de reconnaissance d’un individu par analyse de l’image de ses empreintes. La Figure 2 présente le diagramme global d’un système de reconnaissance à base d’analyse d’empreintes.

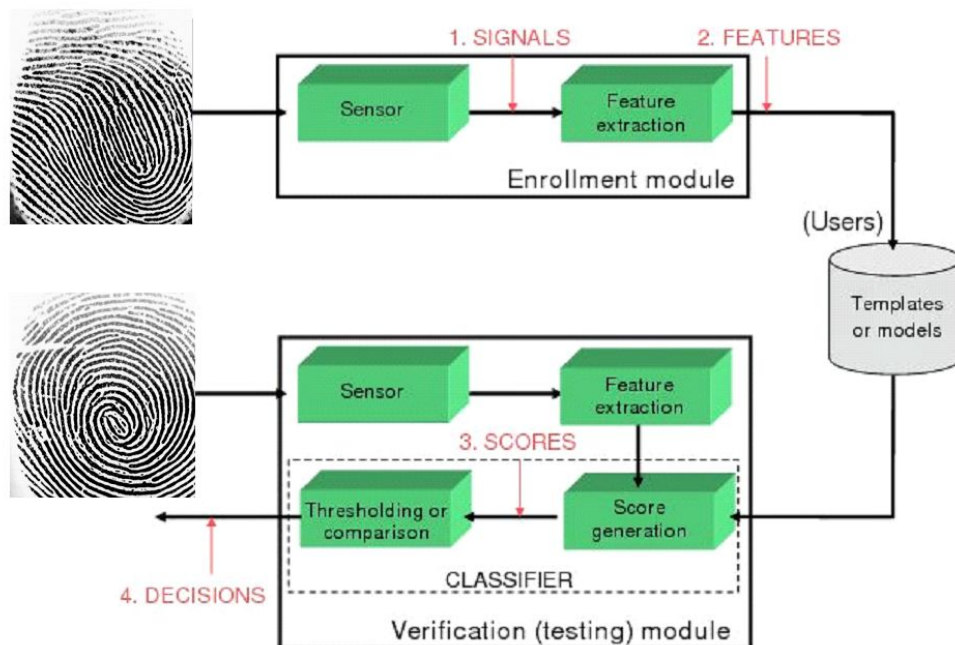


FIGURE 2 – Architecture globale du système de reconnaissance.

Un tel système est constitué de deux modules : un module d'enrôlement qui consiste à acquérir et modéliser une empreinte digitale afin d'en stocker une référence biométrique dans la base de données ; un module de vérification ou de test destiné à comparer la référence biométrique de l'empreinte digitale présente à l'entrée du système à l'ensemble des références biométriques stockées dans la base de données. Plus précisément, on distingue les boîtes de traitement suivantes :

- *Sensor* : cette boîte correspond à l'acquisition de l'image de l'empreinte digitale.
- *Feature extraction* : cette boîte correspond à une étape de modélisation de certaines caractéristiques de l'empreinte digitale sachant que l'information qui est stockée dans la base de données est constituée de ces seules caractéristiques et non de l'image dans son intégralité. Cela conduit au stockage de ce que l'on désigne par référence biométrique alors que l'image brute de l'empreinte représente la donnée biométrique. L'intérêt principal d'une modélisation préalable est de permettre l'enregistrement d'une information qui soit indépendante du capteur utilisé pour faire l'acquisition de l'image de l'empreinte.
- *Score generation* : cette boîte réalise la comparaison de deux références biométriques d'empreintes digitales et renvoie un score de similitude entre les deux références testées.
- *Thresholding* : après avoir sélectionné dans la base de données la référence biométrique qui ressemble le plus à celle de l'empreinte présente à l'entrée du système, il faut encore s'assurer que le score de similitude obtenu est suffisamment élevé pour que l'on puisse considérer les deux empreintes effectivement identiques d'où une étape de seuillage.

On remarque enfin que le système dispose d'une base de données (Template or models) qui regroupe l'ensemble des références biométriques des individus ayant été enrôlés.

1.1 Acquisition d'une image d'empreinte digitale (*sensor*)

A l'origine, les empreintes digitales étaient acquises sur papier grâce à de l'encre noire (voir Figure 3).

A l'heure actuelle, les empreintes sont acquises sous forme numérique via des capteurs dédiés. On distingue des capteurs optiques, des capteurs capacitifs et des capteurs thermiques. Dans le TP, nous utiliserons un capteur thermique. Ce type de capteur présente la propriété de transformer une variation de température en une variation électrique. Lorsque le doigt touche le capteur, les lignes de crêtes en contact avec le capteur induisent une forte variation de température ce qui n'est pas le cas



FIGURE 3 – Acquisition d'empreintes digitales.

des vallées. Remarquons de plus que la variation de température induite par les lignes de crête est fugace (mise en équilibre thermique), donc il est nécessaire d'avoir une acquisition avec un doigt en mouvement. En pratique, le doigt glisse sur une barrette pyro-électrique qui est alors successivement parcourue par les crêtes et les vallées (voir Figure 3). L'image est acquise tranche par tranche et on procède ensuite à sa reconstruction.

1.2 Génération de la référence biométrique associée (*feature extraction*)

1.2.1 Caractéristiques d'une empreinte digitale

Les lignes de crêtes d'empreinte digitale présente un ensemble de particularités qui peuvent être classées selon trois groupes :

- Le *choeur* ou *noyau* : c'est le point autour duquel les lignes s'enroulent, ce point est en général situé au centre de l'empreinte,
- Les *points de delta* : ce sont des points de convergence de 3 directions opposées,
- Les *minuties* : ce sont toutes les autres particularités présentes sur les lignes telles que les fins de lignes, les bifurcations de lignes, les points isolés, les croisements de lignes...

Les systèmes automatiques de reconnaissance à base d'empreintes digitales ne s'intéressent qu'aux points de fin de ligne et aux points de bifurcations de lignes. Tous ces points sont désignés sous le terme de *minuties*. Pour chaque point détecté comme fin de ligne ou comme bifurcation de ligne, on relève les coordonnées (x, y) de la minutie correspondante ainsi que son orientation θ (voir Figure 4).

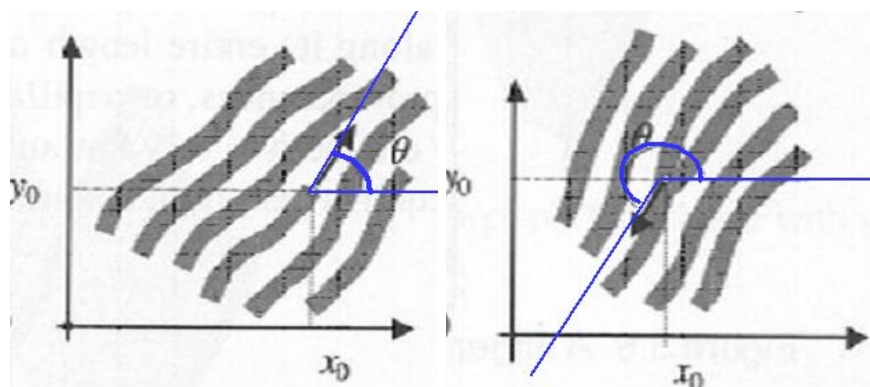


FIGURE 4 – Orientation des minuties : à gauche, cas d'une fin de ligne et à droite, cas d'une bifurcation de ligne.

On a mis en évidence le fait que si deux empreintes présentent entre 15 et 20 minuties situées exactement aux mêmes endroits et de même orientation, alors les deux empreintes proviennent du même individu.

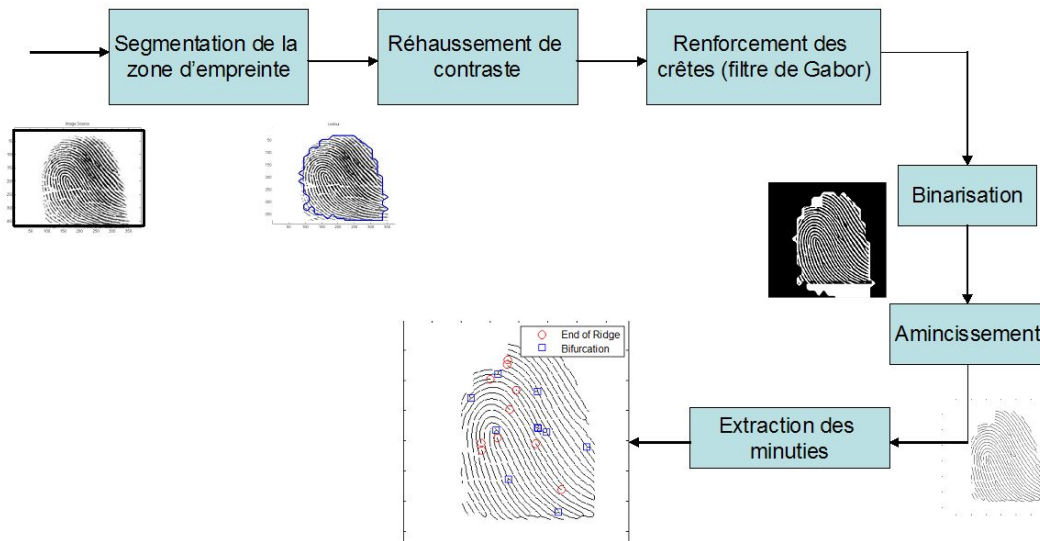


FIGURE 5 – Extraction des minuties.

1.2.2 Extraction des minuties

Le processus d'extraction des minuties se décompose en plusieurs étapes (voir Figure 5). Après quelques rappels sur la définition d'une fonction de luminance et de l'histogramme d'une image, nous allons tour à tour décrire chacune de ces étapes.

Luminance et histogramme

Une image numérique est constituée d'un ensemble de pixels (i, j) , chaque pixel donnant une information sur la quantité de lumière reçue. Une image "en niveaux de gris" est décrite par une fonction de luminance I :

$$\begin{aligned} I : N \times M &\rightarrow \{0, \dots, 255\} \\ (i, j) &\rightarrow I(i, j) \end{aligned}$$

où $I(i, j)$ représente la luminance du pixel (i, j) , cette luminance étant codée sur 8 bits et pouvant prendre une valeur entre "0" (pixel très noir) et "255" (pixel très blanc). La Figure 6 présente l'exemple d'une image constituée d'un dégradé de gris de 0 à 255. A droite est représentée l'évolution de la fonction de luminance selon la ligne sélectionnée en rouge.

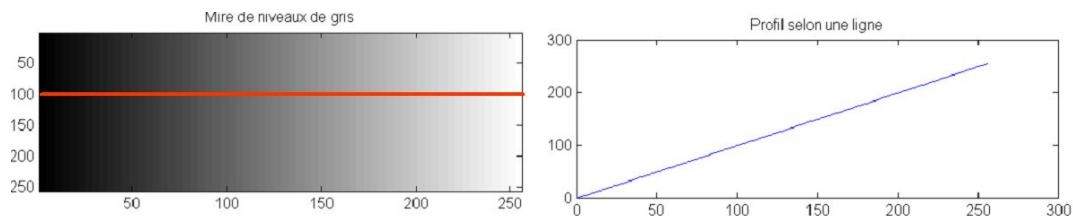


FIGURE 6 – A gauche, dégradé de niveaux de gris. A droite, profil de luminance selon la ligne sélectionnée.

A partir de la fonction de luminance d'une image, on peut construire l'histogramme associé qui donne pour chaque niveau de gris i possible, le nombre de points de l'image ayant ce niveau de gris i . Si on divise chaque composante de l'histogramme par le nombre total de pixels de l'image, on obtient l'histogramme normalisé de l'image qui donne la probabilité d'apparition de chacun des niveaux de gris dans l'image. La Figure 7 donne plusieurs exemples d'images et d'histogrammes associés.

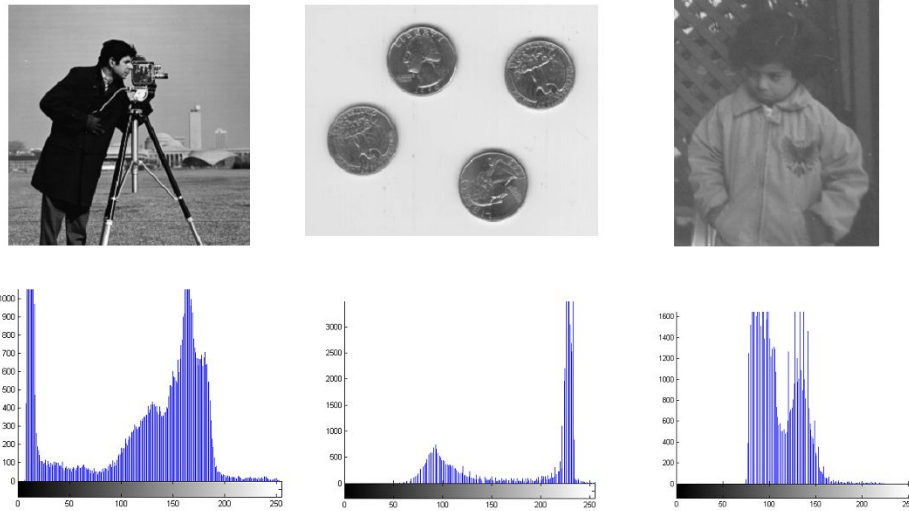


FIGURE 7 – Images et histogrammes associés.

Segmentation de la zone d'empreinte

L'objectif de cette phase est d'extraire de l'image d'empreinte l'ensemble des points qui correspondent aux lignes et de rejeter les points correspondant au fond de l'image. Pour ce faire, l'image acquise est découpée en blocs (par exemple en blocs de taille 16×16 pixels). Sur chacun des blocs, on calcule la moyenne et la variance des niveaux de gris et on conserve les blocs de variance suffisamment élevée. En effet, les points du fond de l'image sont de niveau de gris plutôt uniforme donc la variance associée aux blocs de points de fond est plutôt faible. A l'opposé, les blocs contenant des lignes de l'empreinte sont des blocs constitués de pixels alternativement sombres et clairs donc le bloc est de variance élevée.

Soit $I(p)$ la luminance au pixel p , on conserve les blocs tels que :

$$\sigma^2 = \sum_{p \in \text{bloc}} (I(p) - \mu)^2 > \lambda$$

où λ est un seuil choisi par l'utilisateur et μ est le niveau de gris moyen du bloc.

La Figure 8 présente un exemple de segmentation de la zone d'empreinte par utilisation de la méthode portant sur la variance.

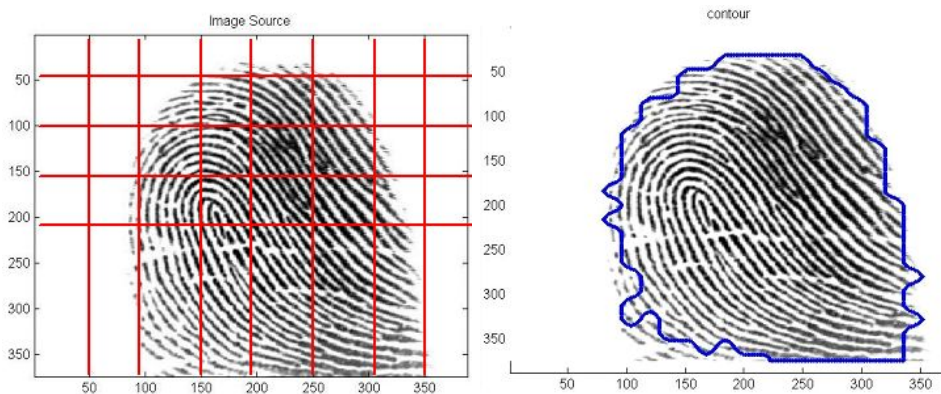


FIGURE 8 – Segmentation de la zone d'empreinte. A gauche découpage de l'image en blocs (16×16 pixels). A droite, zone segmentée.

Réhaussement de contraste

Cette phase de réhaussement de contraste peut être envisagée dans le cas où l'empreinte acquise

apparaît visuellement peu contrastée du fait par exemple d'une mauvaise "utilisation" de la dynamique disponible. La Figure 9 donne l'exemple d'une empreinte digitale avec son histogramme. L'analyse de l'image montre une empreinte très sombre sur laquelle il est très difficile de faire la différence entre les lignes de crête et les vallées. Si on analyse l'histogramme de cette image, on s'aperçoit que les valeurs de niveaux de gris présentes dans l'image sont limitées à l'intervalle $[0, 150]$ ce qui explique l'aspect plutôt sombre de l'image.

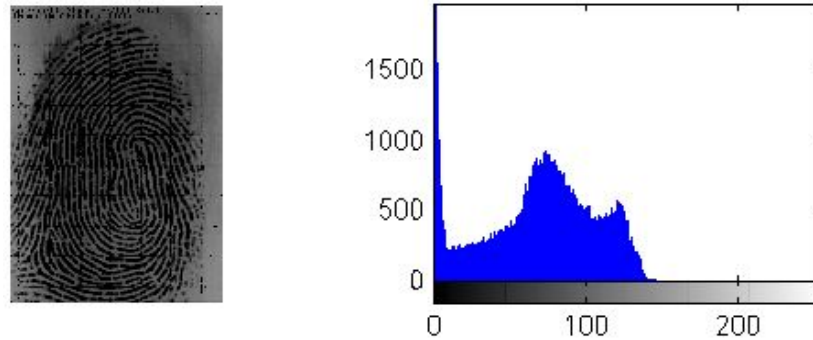


FIGURE 9 – Cas d'une empreinte avec un mauvais contraste.

Afin d'améliorer la qualité de l'image, on envisage une opération d'étirement d'histogramme qui va permettre un affichage de cette même image en utilisant les 256 niveaux de gris disponibles. On réalise alors la transformation suivante :

$$I_{mod}(p) = 255 \frac{I(p) - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

où I_{min} et I_{max} sont les niveaux de gris minimum et maximum de l'image initiale. La Figure 10 montre le résultat de cette opération d'étirement d'histogramme sur l'empreinte de la Figure 9. On constate que les lignes de crêtes se distinguent désormais mieux des vallées.

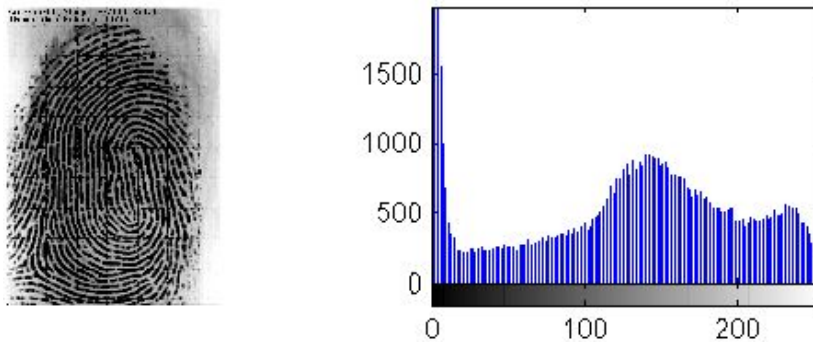


FIGURE 10 – Empreinte après étirement de son histogramme.

Une autre possibilité pour essayer d'améliorer le contraste entre les lignes de crêtes et les vallées est de faire une égalisation d'histogramme. Sans entrer dans les détails, l'objectif est de modifier la répartition des niveaux de gris sur l'échelle $[0, 255]$ de manière à ce que tous les niveaux de gris soient également représentés.

Renforcement des lignes de crête par filtre de Gabor

Un filtre de Gabor est un filtre sélectif en fréquence et en orientation. Son expression générale s'écrit :

$$\begin{aligned} g_{\theta, f}(x, y) &= \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \cos(2\pi f x_{\theta}) \\ &= \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \cos(2\pi f (x \sin \theta + y \cos \theta)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - \theta) & \sin(90^\circ - \theta) \\ -\sin(90^\circ - \theta) & \cos(90^\circ - \theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sin(\theta) & \cos(\theta) \\ -\cos(\theta) & \sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \end{aligned}$$

où θ est l'orientation du filtre (cette valeur permet de choisir la direction à sélectionner), f sa fréquence centrale (permet de fixer l'ordre de grandeur de la fréquence d'intérêt), σ_x et σ_y sont les écarts types de l'enveloppe exponentielle (ces valeurs permettent de régler la bande passante du filtre). La Figure 11 propose la fonction de transfert d'un filtre de Gabor. On remarque une fonction de transfert de type passe-bas orienté.

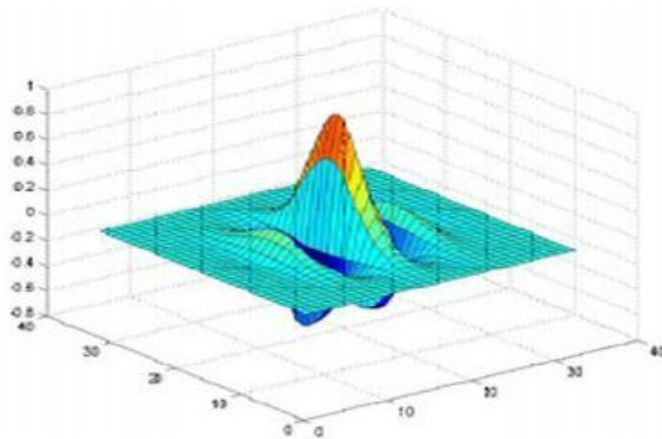


FIGURE 11 – Fonction de transfert d'un filtre de Gabor.

La Figure 12 présente les fonctions de transfert de 24 filtres de Gabor différents. Pour chaque filtre, les écart-types sont fixés à 2, en revanche, la fréquence centrale et l'orientation du filtre changent.

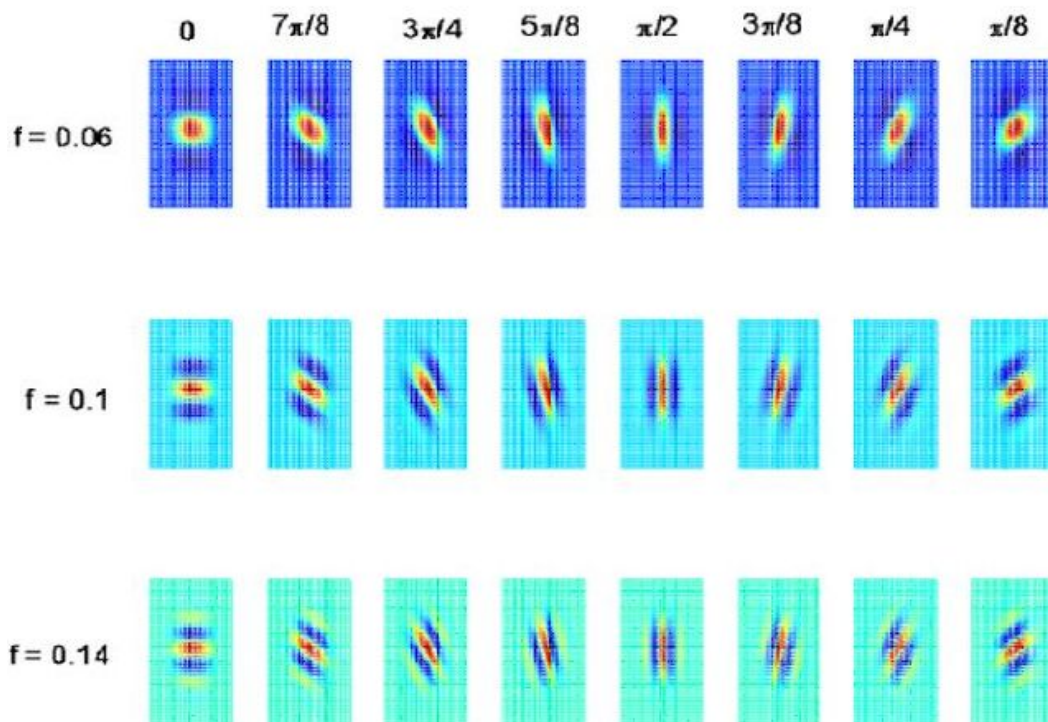


FIGURE 12 – Fonctions de transfert de filtres de Gabor.

Les filtres de Gabor sont donc des filtres qui permettent d'accentuer une bande de fréquences et une

bande d'orientations données. Les empreintes digitales étant constituées de lignes de crêtes orientées et périodiques, on comprend donc aisément l'intérêt de l'utilisation de ce genre de filtre.

Binarisation des lignes de crête

Une fois que les lignes de crête ont été renforcées, on procède à leur extraction en réalisant une binarisation de l'image. Le but est d'obtenir une image binaire, à deux niveaux de gris, telle que les pixels des lignes de crêtes soient noirs et les pixels des vallées soient blancs. On réalise l'opération de seuillage suivante :

$$B(p) = \begin{cases} 0, & \text{si } I(p) > \beta \\ 255, & \text{si } I(p) < \beta \end{cases}$$

où β est un seuil qui est soit choisi manuellement en s'aidant de l'histogramme soit calculé automatiquement pour chaque image de manière à maximiser la variance inter-classe et à minimiser la variance intra-classe (méthode d'Otsu). La Figure 13 présente un exemple de binarisation d'une image d'empreinte.

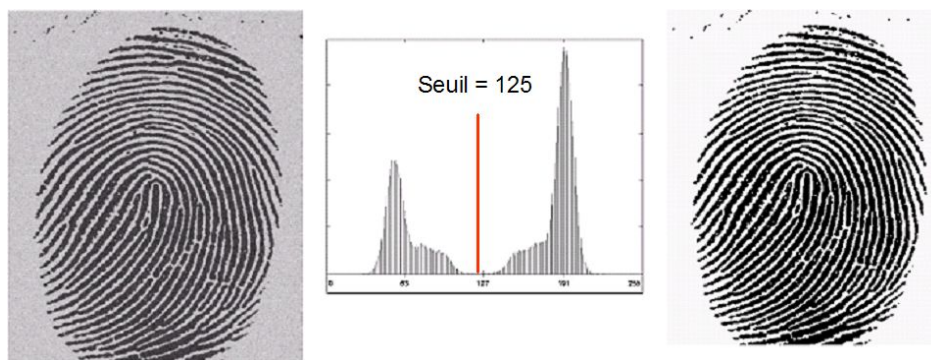


FIGURE 13 – Binarisation de l'empreinte.

Amincissement des lignes de crêtes



Dans cette partie, on considère que l'image binaire des contours est constituée de deux valeurs : la valeur "0" pour les pixels de vallées et la valeur "1" pour les pixels de crêtes.

Afin de pouvoir déterminer de manière précise les points de fin de ligne ou les points de bifurcation de lignes, il est nécessaire que sur l'image binarisée, les contours extraits soient d'épaisseur 1 pixel seulement. On procède donc à une étape d'amincissement des contours binaires extraits. Pour ce faire, on considère les 8 masques proposés sur la Figure 14.

Pour chacun de ces masques, les pixels marqués d'une étoile peuvent prendre indifféremment la valeur 0 ou 1. L'opération d'amincissement consiste à mettre le pixel courant de l'image binaire à "0" s'il y a coïncidence avec l'un des 8 masques proposés. L'image de départ est balayée de manière itérative jusqu'à ce qu'il n'y ait plus aucun changement de pixel. La Figure 15 présente un exemple de résultat obtenu sur un cas d'école.

La Figure 16 présente un exemple de résultat obtenu sur une image d'empreinte. Dans ce dernier cas, on constate qu'effectivement, tous les contours extraits sont désormais d'épaisseur 1 pixel seulement.

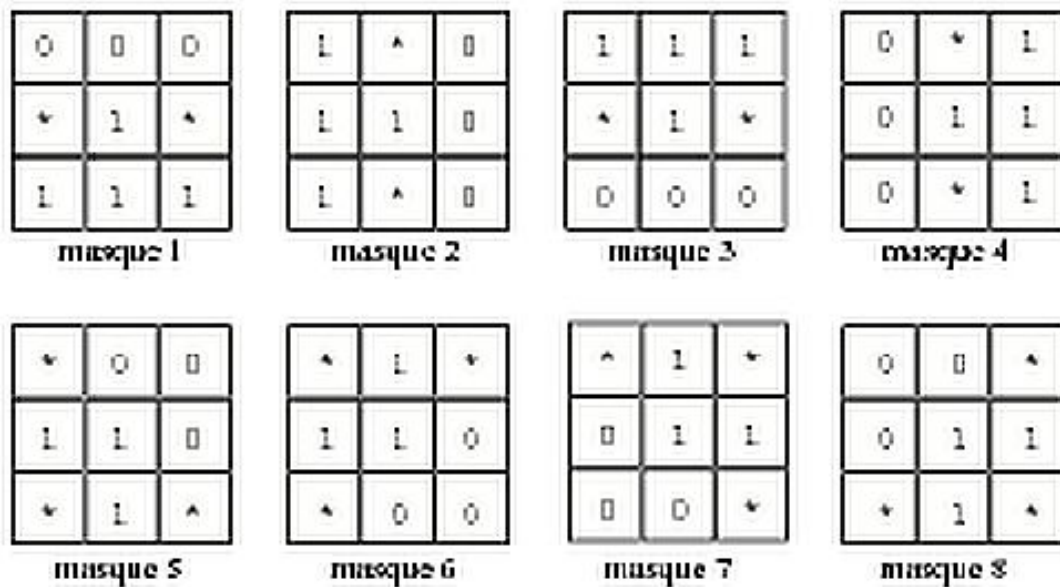


FIGURE 14 – Masques pour l'opération d'amincissement des contours.

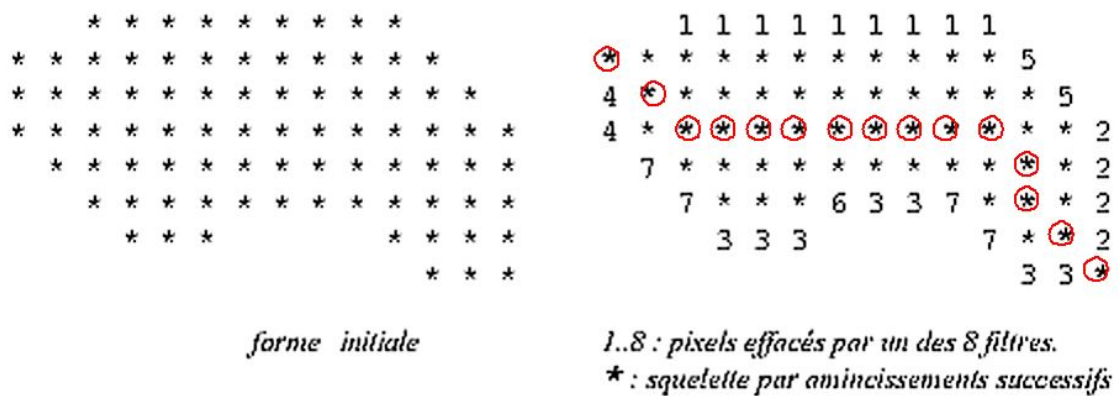


FIGURE 15 – Exemple d'amincissement sur une structure binaire simple.



FIGURE 16 – Amincissement des contours des lignes de crête.

Détection des minuties

Afin de détecter l'ensemble des minuties (fin de lignes et bifurcations de lignes), on calcule le nombre cn ou "crossing number" défini sur un voisinage 3×3 autour de chaque pixel ligne (cf. Figure 16) et on conserve les points pour lesquels cn vaut 1 ou 3.

$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |bw(p_{i \bmod 8}) - bw(p_{i-1})|$$

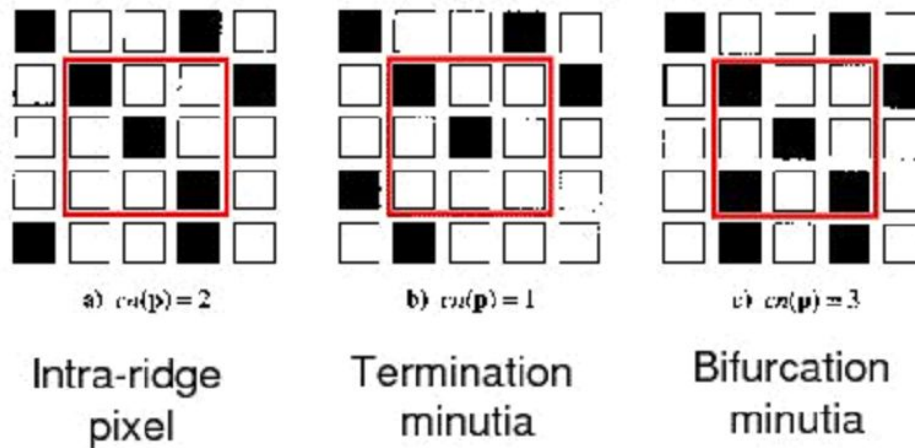


FIGURE 17 – Définition du "crossing number".

1.3 Comparaison de deux références biométriques

Une fois la phase d'extraction des caractéristiques terminée, chaque empreinte digitale est représentée par un ensemble de minuties orientées. Afin de comparer deux empreintes différentes, on s'efforce alors de mettre en correspondance le plus grand nombre possible de minuties. Statistiquement, on a évalué que deux empreintes qui présentent une quinzaine de minuties communes sont a priori deux empreintes de la même personne. Le processus de mise en correspondance de deux jeux de minuties n'est pas un processus simple. En effet, une empreinte par rapport à l'autre peut avoir été acquise avec des rotations, des translations voire des distorsions étant donnée que la surface d'un doigt n'est pas plane a priori. Nous ne détaillerons pas plus ici le processus de mise en correspondance. Nous retiendrons que l'empreinte qui sera sélectionnée en identification sera celle qui présente le plus de minuties en commun avec l'empreinte requête. En authentification, on supposera que les deux empreintes correspondent si on enregistre plus d'une quinzaine de minuties communes.

2 Travail à effectuer

Pour ce TP, vous disposez d'une part de routines Matlab qui permettent de suivre pas à pas le processus de caractérisation puis de reconnaissance d'une empreinte digitale et d'autre part de base de données d'empreintes. Les bases de données disponibles sont divisées en deux sous bases :

- La **base de données** : elle contient les images d'empreintes ainsi que les minuties correspondantes des individus ayant déjà été enrôlés par le système ;
- La **base de test** : elle contient les images des empreintes à tester avec d'une part le sous ensemble des empreintes dites "connues" i.e. il s'agit d'un ensemble d'empreintes dont la référence biométrique a déjà été stockée dans la base de données et d'autre part, le sous ensemble des empreintes inconnues, à savoir des images d'empreintes dont la référence biométrique est absente de la base de données.

Quelle que soit la base considérée, chaque utilisateur est repéré par un numéro.

2.1 Extraction des minuties et comparaison de 2 empreintes

Pour l'ensemble des étapes nécessaires à l'extraction des minuties, exécuter l'interface Matlab **Menu**. Il apparaît alors un menu constitué de l'ensemble des traitements successifs à réaliser.



attention, toutes les étapes de traitement doivent être faites et ce dans l'ordre proposé.

Pour l'ensemble des étapes relatives à la comparaison de 2 empreintes, vous disposez de l'interface Matlab **Menu2**.

2.1.1 Chargement d'une image d'empreinte

L'onglet *Choisir une image* permet le chargement de l'image d'empreinte à traiter. Vous pouvez choisir une image de la base de données ou une image de la base de test. Il s'affiche alors d'un côté l'image et de l'autre son histogramme.

Manipulation

Charger et visualiser une ou deux images d'empreintes de votre choix.
Commenter les histogrammes obtenus.

2.1.2 Prétraitements

Selon les capteurs utilisés, les images d'empreintes acquises peuvent être plus ou moins contrastées. Le répertoire *empreintes_acquises* donnent des exemples d'empreintes digitales ayant été acquises via un lecteur thermique, un lecteur optique ou via un scanner suite au recueil et à la révélation de l'empreinte sur un support de verre. Il est alors parfois nécessaire d'essayer d'améliorer le contraste des images avant l'extraction des lignes de crêtes.

Manipulation

En utilisant le programme `pretraitement.m`, charger une empreinte de chaque sous-répertoire du répertoire *empreintes_acquises*. Commenter les résultats obtenus.



Tant que vous travaillez avec la base de données fournies, le prétraitement n'aura pas d'effet car les images sont dès leur acquisition suffisamment contrastées. En revanche, quand vous aurez fait l'acquisition de vos propres empreintes à la fin du TP, le prétraitement deviendra utile.

2.1.3 Segmentation de la zone d'empreintes

La segmentation de la zone d'empreinte se fait selon la méthode décrite précédemment.

Manipulation

Cette méthode fait intervenir deux paramètres, rappeler de quels paramètres il s'agit.

L'onglet *Segmentation* permet la segmentation automatique de l'image sélectionnée.

Pour l'image 7.tif du répertoire *base de données*, réaliser cette segmentation.

Dans un premier temps, on prendra les paramètres proposés par défaut puis on fera varier l'un des deux paramètres l'autre restant constant de manière à voir quelle est l'influence de la valeur choisie pour chacun des deux paramètres.

En particulier, que se passe-t-il si on diminue la taille des blocs (prendre des blocs de taille 4) ?

Que se passe-t-il si on augmente le seuil sur la variance.

Manipulation

Trouver le couple (Taille, Seuil) qui conduit à la meilleure segmentation pour l'image *essai4.bmp* du répertoire *empreintes_acquises/optique*.

Même question pour l'image *scan2.jpg* du répertoire *empreintes_acquises/scan*.

Pour conclure sur cette étape, à votre avis est-il indispensable de trouver le meilleur couple possible (taille de bloc, variance) ou bien peut-on se contenter d'un jeu de paramètres "moyens" à savoir d'un jeu de paramètres qui resterait le même pour toutes les images traitées quitte à obtenir une segmentation incomplète de la zone d'empreinte ?



Avec cette dernière question, on se place dans une problématique plus vaste classique en analyse d'images. En effet, pour extraire les minuties, on va enchaîner de manière séquentielle plusieurs traitements, on doit alors se poser la question de la répercussion sur le résultat final d'une erreur survenue en cours de chaîne.

2.1.4 Estimation d'orientation et de fréquence

Si on examine de près une image d'empreinte digitale, on constate que celle-ci est constituée d'un ensemble de lignes localement périodiques et orientées. L'objet des onglets *Estimation d'orientation* et *Estimation de fréquence* consiste justement à estimer localement l'orientation et la fréquence des lignes sur une sous-région. Ces valeurs seront par la suite utilisées pour choisir le filtre de Gabor le plus adapté.

Que ce soit pour l'estimation des orientations locales ou pour l'estimation des fréquences locales, on propose de procéder en deux temps. Dans un premier temps, on permet l'estimation de l'orientation locale ou de la fréquence locale d'une sous-région particulière (cf. Onglets *Estimation orientation un pixel* et *Estimation fréquence d'une région*) afin d'illustrer le processus. Dans un second temps, on réalise ces estimations sur l'intégralité de l'image segmentée (cf. Onglets *Estimation orientation image* et *Estimation fréquence image*).

Estimation de l'orientation locale des lignes

Dans une image, un contour est associé à une variation spatiale en x et/ou y de la fonction de luminance. De ce fait les contours et leur orientation sont calculés à partir des gradients en x et en y de la fonction de luminance. A titre d'exemple, la Figure 18 montre les gradients horizontaux, verticaux et la norme du gradient de l'image "carré noir sur fond blanc". On constate effectivement que ces gradients sont non nuls aux endroits pour lesquels la fonction de luminance varie (passage du blanc au noir ou inversement). Le gradient de luminance est un vecteur orienté perpendiculairement au contour, son orientation est donnée par $\arctan(G_y/G_x)$, les gradients G_x et G_y étant calculés localement sur une fenêtre de taille 3x3.

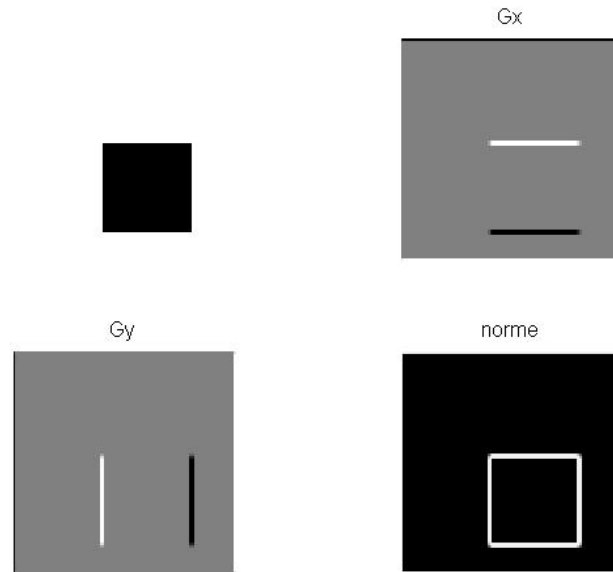


FIGURE 18 – Gradients d’une image. Sur les images de gradients horizontaux et verticaux Gx et Gy , les valeurs nulles sont représentées en gris, les valeurs positives en plus clair et les valeurs négatives en plus sombre. Pour la norme du gradient, plus le pixel est clair et plus la norme de gradient associée est élevée.

Dans le cadre du TP, il est nécessaire de procéder à une estimation de l’orientation locale des lignes de l’empreinte. Pour ce faire, cette orientation est calculée à partir des informations contenues dans une fenêtre locale de taille $(n + 1) \times (n + 1)$ pixels et ce à partir des gradients Gx et Gy . n représente la taille choisie par l’utilisateur.

Manipulation || A partir d’une image de la base de données, procéder à l’estimation de l’orientation locale en un pixel donné (vous pouvez bien entendu répéter l’opération autant de fois que vous le souhaitez).
Cliquez sur l’onglet *Estimation orientation pixel* et sélectionnez un point d’une ligne. Une image des gradients locaux Gx et Gy apparaît ainsi que la valeur de l’orientation trouvée sachant que le 0° correspond à l’axe vertical orienté vers le haut.
Procédez ensuite à l’estimation de l’ensemble des orientations locales des lignes de l’image à partir de l’onglet *Estimation orientation image*. Commentez l’image des orientations obtenues.

Estimation de la fréquence locale des lignes

Afin d’estimer localement la fréquence de récurrence des lignes d’empreinte, on procède en plusieurs temps (cf. onglet *Estimation fréquence région*) :

- Choix à la souris de la région d’étude.
- Les lignes d’empreinte de la région sélectionnée sont alors redressées verticalement.
- Le profil horizontal de luminance de la ligne médiane est extrait et la fréquence de ce profil est alors évaluée.

Manipulation || Pour l’image *base_de_test/3_2.tif*, évaluez la fréquence des lignes dans deux zones différentes (on prendra une zone où les lignes sont très resserrées et une zone pour laquelle les lignes sont plus espacées).
Procédez ensuite à l’estimation des fréquences locales sur l’ensemble de l’image (cf. onglet *Estimation fréquence image*).

2.1.5 Réhaussement de contours : filtrage de Gabor

Les filtres de Gabor sont des filtres sensibles à l'orientation et à la fréquence, ce qui veut dire que ce sont des filtres qui vont renforcer les informations selon une orientation et une fréquence données. Les empreintes étant des images à structures périodiques et orientées, on comprend bien la justification de l'utilisation de tels filtres afin de construire une image dans laquelle les lignes de crête auront été renforcées.

Selon la présentation qui en a été faite précédemment, un filtre de Gabor requiert la spécification de 4 paramètres : orientation, fréquence, variances en x et en y (ce qui fixe la bande passante du filtre).

L'onglet *Filtre de Gabor* permet le réhaussement des contours de l'empreinte par filtrage de Gabor. Les paramètres de variance en x et en y sont fixés *a priori* à 4. En ce qui concerne les orientations, 8 valeurs variant de $\pi/8$ à $7\pi/8$ sont considérées. En ce qui concerne la fréquence du filtre de Gabor, elle est redéfinie à chaque pixel à partir de la carte des fréquences estimées lors de l'étape précédente.

Manipulation

Appliquer l'étape *Filtre de Gabor*. Commenter la figure relative au résultat des filtrages selon les 8 orientations prédéfinies.

In fine, à l'aide de tous ces différents filtrages, on reconstruit une image pour laquelle à chaque pixel on attribue le résultat du filtre de Gabor correspondant au mieux aux valeurs estimées de la fréquence et de l'orientation locales (on quantifie les valeurs d'orientation sur les 8 niveaux possibles de $\pi/8$ à $7\pi/8$).

Manipulation

Comparer et commenter l'image reconstruite et l'image initiale. Pour chacune des deux images, on présente également son histogramme.

2.1.6 Binarisation et amincissement

Une fois les contours réhaussés, il s'agit de les extraire. Pour ce faire, on procède à une binarisation ou segmentation des pixels images en deux classes : la classe des pixels crêtes et la classe des pixels vallées. Cette binarisation est suivie d'un amincissement des lignes de contours extraits de manière à ce que chaque contour ait une épaisseur de 1 pixel seulement.

L'onglet *Binarisation et Amincissement* permet la réalisation de ces deux opérations de traitement. Le choix du seuil pour la binarisation est laissé ou non au choix de l'utilisateur. On distingue :

- Le mode *Binarisation automatique* qui va sélectionner sur chaque sous-région de l'image le seuil optimal selon la méthode d'Otsu. Cela suppose que l'image est découpée en bloc dont la taille est laissée au choix de l'utilisateur.
- Le mode *Binarisation manuelle* qui demande à l'utilisateur de donner le seuil pour la binarisation. Attention, dans ce mode, le seuil est le même pour l'ensemble des pixels de l'image.

Manipulation

Commencer par faire une binarisation manuelle. Vous expliquerez clairement la stratégie employée pour choisir le seuil de binarisation.

Tester ensuite la binarisation automatique et comparer les résultats obtenus.

2.1.7 Post-traitement

Manipulation	Selon vous, est il justifié d'appliquer un post-traitement à l'image des contours amincis obtenue précédemment ? Justifier votre réponse.
	Appliquer le post-traitement et commenter l'image obtenue.

2.1.8 Extraction des minuties

C'est la dernière étape dans laquelle le "crossing number" est calculé et les pixels "fin de ligne" et "bifurcation de ligne" sont identifiés.

Manipulation	Procéder à l'extraction des minuties. Indiquer le nombre de minuties associées à l'image traitée.

2.1.9 Comparaison d'empreintes

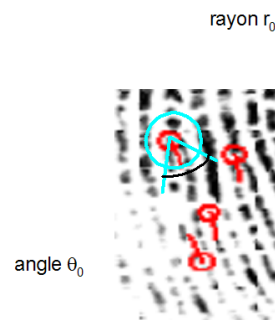
La comparaison de deux empreintes se décompose en deux étapes : alignement des deux images et estimation de la distance entre minuties.

Manipulation	A l'aide de l'interface Menu2 , choisir successivement deux images d'empreintes.

A chaque fois, les minuties sont extraites de l'empreinte considérée (attention, cette phase peut prendre quelques instants). Procéder à la phase d'alignement. Sans entrer dans les détails, on procède à l'alignement d'un maximum de lignes de crête par rotation et/ou translation successives. A l'issue de la phase d'alignement, on constate que des minuties ont été rapprochées. Pour établir la mise en correspondance des minuties 2 par 2, on va calculer les distances entre minuties de même type. D'où la phase de comparaison de distances. Chaque minutie est caractérisée par une position, une orientation et un type (fin de ligne ou bifurcation de lignes). Pour deux minuties $m'_j(x'_j, y'_j, \theta'_j)$ et $m_i(x_i, y_i, \theta_i)$ de même type, on calcule alors les quantités sd (comparaison des positions) et dd (comparaison des orientations) suivantes :

$$sd(m'_j, m_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_0$$

$$dd(m'_j, m_i) = \min(|\theta'_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta'_j - \theta_i|) \leq \theta_0$$



On estime alors que les deux minuties sont à mettre en correspondance si les deux quantités sd et dd sont inférieures respectivement aux seuils r_0 et θ_0 . Les valeurs de ces deux paramètres sont donc à fixer a priori.

Effectuer l'estimation des distances entre minuties (cf. onglet *Comparaison distance minuties*). Dans un premier temps, prendre les paramètres par défaut, puis faire varier ces paramètres afin de voir les répercussions sur les résultats. Quelles sont les valeurs qui vous semblent le mieux convenir. Justifier.

2.2 Authentification

Lors d'un fonctionnement en authentification, l'utilisateur proclame d'une part son identité (ici ce sera un numéro) et fournit d'autre part son empreinte digitale. Le système vérifie alors que l'empreinte fournit au système correspond bien à celle de l'identité proclamée.



Vous disposez de l'interface Matlab **Menu3**. L'onglet *Enrôlement* permet l'ajout de nouvelles empreintes dans la base de données. Cette fonctionnalité sera utilisée dans la partie 4.

Procéder à la phase de vérification dans plusieurs cas différents : d'une part en proclamant la "bonne" identité et d'autre part, en déclarant une identité erronée. Les images d'empreintes seront chargées à partir du répertoire *base_de_test/connu*, l'identité à déclarer correspond au premier numéro du nom du fichier d'empreinte. A titre d'exemple, si on sélectionne l'image *5_2.tif*, l'identité à déclarer est 5. L'identité proclamée est considérée comme bonne si l'image d'empreinte fournie présente 15 minuties communes avec la référence biométrie correspondante stockée dans la base de données.

Pour chaque cas testé, indiquer l'image considérée et l'identité proclamée. Relever la réponse du système ainsi que le nombre de minuties appariées.

2.3 Identification

Dans ce cas, il s'agit de vérifier si l'empreinte fournie au système est la même ou non qu'une des empreintes stockées dans la base de données et si oui, d'en déduire l'identité (en l'occurrence le numéro) de l'empreinte analysée. Le système extrait alors les minuties de l'empreinte fournie et effectue une comparaison avec l'ensemble des références biométriques stockées dans la base de données (ce sont les fichiers *.mat*). Toutes les identités possibles correspondent au cas pour lesquels plus de 15 minuties sont mises en correspondance et si plusieurs cas se présentent, on sélectionne celui qui a le plus grand nombre de minuties en commun.

Tester ce module d'identification avec d'une part une image de base de test/connu et une image de base de test/inconnu. Dans chaque cas, commenter les résultats obtenus et indiquer le nombre de minuties communes. Attention, les calculs peuvent être longs surtout s'il y a beaucoup d'images dans la base de données. A ce sujet, assurez vous qu'il n'y ait pas plus de 7 images dans la base de données.

2.4 Acquisition et révélation d'empreintes

Maintenant que le principe d'analyse d'une empreinte digitale est acquis, nous allons procéder à l'acquisition et à l'analyse de votre propre empreinte. On dispose d'un capteur thermique d'empreintes digitales et d'un capteur optique.

2.4.1 Analyse d'une empreinte acquise avec le capteur thermique

Manipulation	Pour procéder à une acquisition, lancer le logiciel Xnview. Dans le menu Fichier/Sélectionner la source Twain, sélectionner Certis Twain source. Puis aller dans le menu Fichier/Acquisition.
	Pour relever votre empreinte : cliquer sur scanner puis faites glisser votre doigt de haut en bas sur la barrette pyro-électrique. Lorsque vous êtes satisfait de l'empreinte acquise, sauvegardez là au format .tif. On estime que l'on est satisfait de l'acquisition lorsque l'empreinte acquise est d'une part bien contrastée et d'autre part qu'elle représente le plus grand nombre de lignes de crêtes possibles.
Manipulation	A l'aide du programme Menu , extraire les minuties de votre empreinte et assurez vous qu'il y en ait une nombre conséquent. Cette étape permet de vérifier que la qualité de l'image acquise est suffisante pour que des minuties puissent être extraites. Si vous estimez ne pas avoir assez de minuties, recommencer votre acquisition.

On va maintenant enregistrer votre empreinte dans la base de données.

Manipulation	Relancer l'interface Matlab Menu3 .
--------------	--

Avant de procéder à l'enrôlement, visualiser le contenu du répertoire base de données. Ce répertoire contient a priori 7 images (nom de fichier avec extension .tif) et 7 fichiers associés d'extension .mat qui contiennent les coordonnées, l'orientation et le type de minuties extraites.

Manipulation	Procéder à l'enrôlement de votre empreinte en cliquant sur l'onglet <i>Enrôlement</i> .
--------------	---

Le programme extrait alors l'ensemble des minuties de votre empreinte, vous attribue un identifiant (a priori le numéro 8) et génère les fichiers 8.tif et 8.mat. Votre empreinte a donc été ajoutée à la base de données.

Pour faire un test de reconnaissance, il vous faut alors acquérir une seconde empreinte digitale du même doigt à l'aide du capteur thermique.

Manipulation	Enregistrer cette nouvelle empreinte au format .tif et faites un test d'authentification (en vous rappelant que vous êtes a priori le numéro 8) et faites un test d'identification. Indiquer le nombre de minuties extraites pour chaque image ainsi que le nombre de minuties appariées.
--------------	--



Soyez soigneux lors de l'acquisition de votre seconde empreinte. Il faut toujours se rappeler que plus la qualité de l'image initiale est bonne et plus la reconnaissance sera efficace.

2.4.2 Analyse d'une empreinte acquise avec le capteur optique

Manipulation

Faites l'acquisition de votre empreinte (toujours du même doigt) à l'aide du capteur optique. Pour ce capteur, il suffit de poser le doigt sur la vitre jusqu'à ce que le système émette un bip.



Vérifier que la plaque de verre n'est pas trop sale avant votre acquisition car les empreintes digitales laissent des traces.

Manipulation

Extraire les minuties à l'aide du programme **Menu**.

Comparer le nombre de minuties obtenues avec le nombre obtenu sur les images acquises avec le capteur thermique.

Que pensez-vous de la qualité respective de chaque capteur ?

Essayer de procéder à une vérification en présentant au système votre empreinte acquise avec le lecteur optique.

Indiquer les résultats obtenus et en cas d'échec, essayer de justifier.

2.4.3 Révélation d'empreintes

Pour finir, on se propose d'analyser une empreinte qui aurait été recueillie sur "une scène de crime".



Attention, il faut être le plus méticuleux possible car il est a priori difficile d'obtenir une empreinte de qualité de cette manière.

Manipulation

Appuyer votre doigt (le même que précédemment) sur la plaque de verre (vérifier que la plaque est propre, la manipuler en la prenant par les bords).

Procéder à la révélation de cette empreinte en appliquant de la poudre noire (demander de l'aide à un enseignant).

Recouvrir l'empreinte apparue d'un adhésif transparent (en évitant de faire des bulles), coller l'adhésif sur un carton blanc et scanner l'empreinte obtenue.

A l'aide du logiciel Xnview, ajuster si nécessaire la taille de l'image obtenue de manière à ce qu'elle soit comparable à la taille des vos autres images d'empreintes.

A l'aide du programme **Menu**, extraire les minuties.

Commenter les résultats obtenus.

A l'aide du programme **Menu3**, procéder à une vérification.

Commenter les résultats obtenus.

Conclure sur la qualité de l'image d'empreinte révélée.

Bibliographie

D. Maltoni, D. Maio, A. Jain, S. Prabhakar "Handbook of fingerprint recognition" ISBN 0- 387-95431-7, Editions Springer, 2005.

J. Pierson "La biométrie : l'identification par le corps" ISBN : 978-2-7462-1831-4, Herès Science, Edition Lavoisier, 2007.